

This Page Is Inserted by IFW Operations  
and is not a part of the Official Record

## **BEST AVAILABLE IMAGES**

Defective images within this document are accurate representations of the original documents submitted by the applicant.

Defects in the images may include (but are not limited to):

- BLACK BORDERS
- TEXT CUT OFF AT TOP, BOTTOM OR SIDES
- FADED TEXT
- ILLEGIBLE TEXT
- SKEWED/SLANTED IMAGES
- COLORED PHOTOS
- BLACK OR VERY BLACK AND WHITE DARK PHOTOS
- GRAY SCALE DOCUMENTS

**IMAGES ARE BEST AVAILABLE COPY.**

**As rescanning documents *will not* correct images,  
please do not report the images to the  
Image Problems Mailbox.**

**THIS PAGE BLANK (USPTO)**

## PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

(11)Publication number : 05-282466

(43)Date of publication of application : 29.10.1993

(51)Int.Cl.

G06F 15/72

(21)Application number : 04-103845

(71)Applicant : OMRON CORP

(22)Date of filing : 31.03.1992

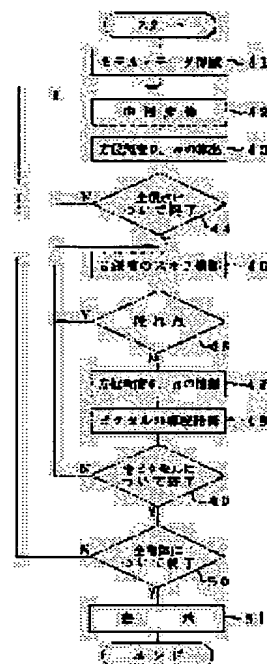
(72)Inventor : NISHIDAI HAJIME  
NISHIYAMA TETSUTO

## (54) METHOD AND DEVICE FOR IMAGE PROCESSING

## (57)Abstract:

**PURPOSE:** To perform accurate interpolation even when variation in the angle in an interpolation section is large and to display an image without irregularity by performing an interpolating process based on an angle of incidence and an angle difference.

**CONSTITUTION:** Model data consist of pairs of coordinate data on the apexes of a polygon which approximately represents a body and data showing tangential plane normal vectors at the points; and the pairs of data are given as to all the vertexes and various constants are also given. As for each of the apexes, coordinate conversion and the calculation of the azimuth angles and  $\alpha$  are performed, and pieces of information on a viewpoint position . and . light source position for them are inputted. Then the Z depth of each pixel is found by using the depth-directional distance (Z depth) of the apex on a display screen and angle data . and . on three mutually nearby apexes are used as to each pixel which can be displayed to calculate azimuth angle data . and . respectively by an interpolating method. Consequently, the accurate interpolation is performed even if the azimuth angle difference between adjacent apexes is large.



## LEGAL STATUS

[Date of request for examination]

[Date of sending the examiner's decision of rejection]

[Kind of final disposal of application other than the examiner's decision of rejection or application converted registration]

[Date of final disposal for application]

[Patent number]

[Date of registration]

[Number of appeal against examiner's decision of rejection]

[Date of requesting appeal against examiner's decision of rejection]

**THIS PAGE BLANK (USPTO)**

**THIS PAGE BLANK (USPTO)**

[Date of extinction of right]

Copyright (C); 1998,2000 Japanese Patent Office

**THIS PAGE BLANK (USPTO)**

(19) 日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11) 特許出願公開番号

特開平 5 - 2 8 2 4 6 6

(43) 公開日 平成 5 年 (1993) 10 月 29 日

(51) Int. Cl. <sup>5</sup>

G06F 15/72

識別記号

465

庁内整理番号

9192-5L

F I

技術表示箇所

審査請求 未請求 請求項の数 5 (全 8 頁)

(21) 出願番号 特願平 4 - 1 0 3 8 4 5  
(22) 出願日 平成 4 年 (1992) 3 月 31 日

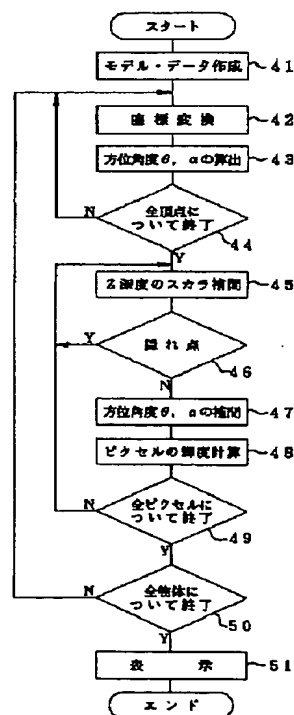
(71) 出願人 0 0 0 0 0 2 9 4 5  
オムロン株式会社  
京都府京都市右京区花園土堂町 1 0 番地  
(72) 発明者 西台 元  
京都市右京区花園土堂町 1 0 番地 オムロ  
ン株式会社内  
(72) 発明者 西山 哲人  
京都市右京区花園土堂町 1 0 番地 オムロ  
ン株式会社内  
(74) 代理人 弁理士 牛久 健司

(54) 【発明の名称】 画像処理方法および装置

(57) 【要約】

【目的】 良質の画像を得るとともに処理速度の高速化を図る。

【構成】 物体モデルを多数の小平面からなる多面体で表わし、この多面体の各頂点における位置座標と法線ベクトルにより構成されるモデル・データを用いて表示画面上の多数のピクセルの輝度を求め、求めた輝度にしたがって物体の陰影画を描くための画像処理方法において、物体を見る観察位置および物体を照明する仮想光源の位置に関する情報ならびに上記モデル・データを用いて、各頂点における光源からの光の入射角  $\theta$  および正反射光の方向と観察方向との角度差  $\alpha$  を算出し、小平面を表わすための各ピクセルにおける入射角および角度差を、近接する 3 頂点の入射角および角度差を用いて補間法により求め、求められた各ピクセルにおける入射角および角度差を用いてそのピクセルの輝度を算出する。



## 【特許請求の範囲】

【請求項 1】 物体モデルを多数の小平面からなる多面体で近似的に表わし、この多面体の各頂点における位置座標と法線ベクトルにより構成されるモデル・データを与え、このモデル・データを用いて表示画面上の多数のピクセルの輝度を求め、求めた輝度にしたがって物体の陰影面を描くための画像処理方法において、物体を見る観察位置および物体を照明する仮想光源の位置に関する情報を与え、これらの与えられた情報およびモデル・データを用いて、各頂点における光源からの光の入射角  $\theta$  および正反射光の方向と観察方向との角度差  $\alpha$  を算出し、小平面を表わすための各ピクセルにおける入射角および角度差を、近接する 3 頂点の入射角および角度差を用いて補間法により求め、求められた各ピクセルにおける入射角および角度差を用いてそのピクセルの輝度を算出する、画像処理方法。

【請求項 2】 各ピクセルにおける入射角および角度差を用いてそのピクセルの輝度を算出する処理を専用のハードウェアによる回路を用いて行う、請求項 1 に記載の画像処理方法。

【請求項 3】 与えられる観察距離データ ( $d$ ) と最短距離パラメータ ( $K$ ) とを加算する第 1 の加算回路 (17)、第 1 の加算回路の出力が入力となり、入力の逆数を表わす出力を発生する第 1 のルックアップテーブル (11)、与えられる入射角データ ( $\theta$ ) を入力とし、 $\cos \theta$  を表わす出力を発生する第 2 のルックアップテーブル (12)、与えられる角度差データ ( $\alpha$ ) および反射方向性次数 ( $n$ ) を入力とし、 $\cos^n \alpha$  を表わす出力を発生する第 3 のルックアップテーブル (13)、与えられる光源輝度データ ( $I_s$ ) と第 1 のルックアップテーブルの出力との積を演算する第 1 の乗算回路 (21)、与えられる拡散反射係数データ ( $k_d$ ) と第 2 のルックアップテーブルの出力との積を演算する第 2 の乗算回路 (22)、与えられる鏡面反射係数データ ( $k_s$ ) と第 3 のルックアップテーブルの出力との積を演算する第 3 の乗算回路 (23)、第 2 の乗算回路の出力と第 3 の乗算回路の出力とを加算する第 2 の加算回路 (24)、第 1 の乗算回路の出力と第 2 の加算回路の出力との積を演算する第 4 の乗算回路 (31)、ならびに与えられる周囲光量に関するデータ ( $k_a \times I_a$ ) と第 4 の乗算回路の出力とを加算する第 3 の加算回路 (32)、を備えた画像処理装置。

【請求項 4】 与えられる最短距離パラメータ ( $K$ )、反射方向性次数 ( $n$ )、光源輝度 ( $I_s$ )、拡散反射係数 ( $k_d$ )、鏡面反射係数 ( $k_s$ ) および周囲光量に関するデータ ( $k_a \times I_a$ ) をそれぞれ一時記憶するレジスタ (18, 19, 27, 28, 29, 34) をさらに備えている、請求項 3 に記載の画像処理装置。

【請求項 5】 複数のステージに分けられ、与えられるクロック信号に同期してパイプライン処理により演算を

実行する、請求項 3 または 4 に記載の画像処理装置。

## 【発明の詳細な説明】

【0001】

【技術分野】 この発明はコンピュータ・グラフィックスの分野における画像処理方法および装置に関する。

【0002】

【背景技術とその問題点】 コンピュータ・グラフィックスにおいて、コンピュータのメモリに記憶されている物体を表わすモデル・データを処理することによって、線画ではなく、陰影のある画像を描画するためのデータを得、より現実感の高い画像を表示するための種々の方法が提案されている。しかしながらこれらの提案されている方法においてはいずれも、表示画面を構成する微小な点 (画素またはピクセル) の発光輝度 (または R, G, B データ) をすべてのピクセルについて算出する必要がある、この計算処理のためにきわめて長い時間が浪費されるという問題がある。

【0003】 物体モデルの表現力に優れた Phong の描画方法を例にとつてこの問題点を具体的に説明する。

【0004】 図 1 は物体モデルの一部を示している。三次元物体の表面は、三角形の小平面の集合として、すなわち多面体として近似的に表現される。図 1 には 2 つの三角形小平面 ABC と ACD が示されている。

【0005】 このような物体のモデル・データは、多面体の頂点 A, B, C, D 等の位置座標と接平面法線ベクトルとから構成されている。各頂点 A, B, C, D の法線ベクトルがそれぞれ  $\uparrow n_A$ ,  $\uparrow n_B$ ,  $\uparrow n_C$ ,  $\uparrow n_D$  で表わされている (図面においてベクトルにはその符号の上に横向きの矢印  $\rightarrow$  を付して表わし、明細書においてはその符号の前に縦向きの矢印  $\uparrow$  を付して表わす)。

【0006】 まず、表示画面上の各ピクセルにおける接平面法線ベクトルを、上述の頂点における接平面法線ベクトルを用いて補間法により求める。

【0007】 ある走査線 SL を考え、この走査線 SL 上のピクセルにおける接平面法線ベクトルを求めよう。

【0008】 頂点 A, B および C における法線ベクトル  $\uparrow n_A$ ,  $\uparrow n_B$  および  $\uparrow n_C$  を次のように置く。

【0009】

$$\uparrow n_A = (x_A, y_A, z_A) \quad \cdots \text{式 1}$$

$$\uparrow n_B = (x_B, y_B, z_B) \quad \cdots \text{式 2}$$

$$\uparrow n_C = (x_C, y_C, z_C) \quad \cdots \text{式 3}$$

【0010】 三角形 ABC の線分 AB および AC と直線 SL とが交わる点をそれぞれ Q, R とする。またこれらの点 (ピクセル) Q, R における法線ベクトルをそれぞれ  $\uparrow n_Q$ ,  $\uparrow n_R$  とする。

【0011】

$$\uparrow n_Q = (x_Q, y_Q, z_Q) \quad \cdots \text{式 4}$$

$$\uparrow n_R = (x_R, y_R, z_R) \quad \cdots \text{式 5}$$

【0012】 直線補間法にしたがうとこれらの法線ベクトル  $\uparrow n_Q$ ,  $\uparrow n_R$  の x, y, z 成分は次式で与えられ

10

20

30

40

50



ることは容易に理解できよう。

【 0 0 1 3 】

$$\begin{aligned} x_0 &= x_1 + (AQ/AB) (x_1 - x_1) \\ &= [1 - (AQ/AB)] x_1 + (AQ/AB) x_1 \end{aligned} \quad \cdots \text{式 6}$$

$$\begin{aligned} y_0 &= y_1 + (AQ/AB) (y_1 - y_1) \\ &= [1 - (AQ/AB)] y_1 + (AQ/AB) y_1 \end{aligned} \quad \cdots \text{式 7}$$

$$\begin{aligned} z_0 &= z_1 + (AQ/AB) (z_1 - z_1) \\ &= [1 - (AQ/AB)] z_1 + (AQ/AB) z_1 \end{aligned} \quad \cdots \text{式 8}$$

$$\begin{aligned} x_1 &= x_1 + (AR/AC) (x_1 - x_1) \\ &= [1 - (AR/AC)] x_1 + (AR/AC) x_1 \end{aligned} \quad \cdots \text{式 9}$$

$$\begin{aligned} y_1 &= y_1 + (AR/AC) (y_1 - y_1) \\ &= [1 - (AR/AC)] y_1 + (AR/AC) y_1 \end{aligned} \quad \cdots \text{式 10}$$

$$\begin{aligned} z_1 &= z_1 + (AR/AC) (z_1 - z_1) \\ &= [1 - (AR/AC)] z_1 + (AR/AC) z_1 \end{aligned} \quad \cdots \text{式 11}$$

【 0 0 1 4 】 ここで AB は点 A と B とを結ぶ線分の長さを表わす。AQ, AC, AR も同じである。

【 0 0 1 5 】 このようにして、点 Q, R における法線ベクトル  $\uparrow n_0, \uparrow n_1$  が求められるので、同じようにして、点 QR 間の線 SL 上にあるピクセル (点) における法線ベクトルを、求められた法線ベクトル  $\uparrow n_0, \uparrow n_1$  を用いて補間により算出する。

【 0 0 1 6 】 さらに同様にして、他の走査線上のピクセルの法線ベクトルを求める。小平面 ACD 上のピクセルについても同様にして、さらに他のすべての小平面を表わすピクセルについても同様にして法線ベクトルを求める。これにより、物体を表わす多角形のすべての点について法線ベクトルが求められる。

【 0 0 1 7 】 次に各ピクセルの輝度の計算に進む。

【 0 0 1 8 】 図 2 に示すように、あるピクセル P の法線

$$I_0 = k_0 I_1 + [I_1 / (d + K)] (k_0 \cos \theta + k_1 \cos^* \alpha) \quad \cdots \text{式 12}$$

【 0 0 2 2 】 ここで、

$I_0$  : 周囲光輝度

$I_1$  : 光源輝度

$k_0$  : 拡散反射係数

$k_1$  : 鏡面反射係数

$k_2$  : 周囲光反射係数

ベクトルを  $\uparrow n$  とする。物体を照明する仮想光源からの光がピクセル P に入射する。ピクセル P では光の反射と拡散が生じる。ピクセル P からの反射光または拡散光 (一般には拡散光となるであろう) をある位置から見た (観察した) 場合の物体の陰影画像が表示すべき画像であり、この画像を表わす輝度を計算することになる。

20 【 0 0 1 9 】 ピクセル P からみた光源の方向を示すベクトルを  $\uparrow L$ , 反射光の進む方向を示すベクトルを  $\uparrow R$ , 観察する位置の方向を示すベクトルを  $\uparrow S$  とする。また、光の入射角 (反射角に等しい) を  $\theta$ , 正反射方向と観察方向との角度差を  $\alpha$  とする。

【 0 0 2 0 】 観察位置からみたときの点 P の輝度 (観察輝度)  $I_1$  は次式で与えられる。

【 0 0 2 1 】

$d$  : 観察距離 (観察点と点 P との間の距離)

$K$  : 最短距離パラメータ

$n$  : 反射方向性次数 (光沢を表わす)

【 0 0 2 3 】 式 12 における  $\cos \theta, \cos \alpha$  はベクトルを用いて次式で与えられる。

【 0 0 2 4 】

$$\cos \theta = (\uparrow n \cdot \uparrow L) / |\uparrow n| |\uparrow L| \quad \cdots \text{式 13}$$

$$\cos \alpha = (\uparrow R \cdot \uparrow S) / |\uparrow R| |\uparrow S| \quad \cdots \text{式 14}$$

【 0 0 2 5 】 ここで中点  $\cdot$  はベクトル内積を表わす。

書ける。

【 0 0 2 6 】 式 13, 式 14 を用いると、式 12 は次のように 40 【 0 0 2 7 】

$$\begin{aligned} I_0 &= k_0 I_1 + [I_1 / (d + K)] [k_0 \{ (\uparrow n \cdot \uparrow L) / \\ &\quad (|\uparrow n| |\uparrow L|) \} + k_1 \{ (\uparrow R \cdot \uparrow S) / \\ &\quad (|\uparrow R| |\uparrow S|) \} ] \end{aligned} \quad \cdots \text{式 15}$$

【 0 0 2 8 】 コンピュータ・グラフィクス・システムではモデル・データを XYZ 座標系で保持していることが多いので、主に式 15 が用いられ、 $\cos \theta$  や  $\cos^* \alpha$  の計算を避けるようにしている。

【 0 0 2 9 】 いずれにしても、各ピクセルの輝度データを得るためには式 12 または式 15 の計算がピクセルごとに必要であり、計算量が膨大であり、陰影画像データを得

るためにきわめて長い時間がかかる。

【 0 0 3 0 】

【 発明の開示 】 この発明は、輝度計算を高速で処理できるハードウェアを提供することを目的とする。

【 0 0 3 1 】 この発明はまた、良質の画像データを得ることを目的とする。

【 0 0 3 2 】 この発明は、物体モデルを多数の小平面か

らなる多面体で近似的に表わし、この多面体の各頂点における位置座標と法線ベクトルにより構成されるモデル・データを与え、このモデル・データを用いて表示画面上の多数のピクセルの輝度を求め、求めた輝度にしたがって物体の陰影面を描くための画像処理方法において、物体を見る観察位置および物体を照明する仮想光源の位置に関する情報を与え、これらの与えられた情報およびモデル・データを用いて、各頂点における光源からの光の入射角  $\theta$  および正反射光の方向と観察方向との角度差  $\alpha$  を算出し、小平面を表わすための各ピクセルにおける入射角および角度差を、近接する 3 頂点の入射角および角度差を用いて補間法により求め、求められた各ピクセルにおける入射角および角度差を用いてそのピクセルの輝度を算出するものである。

【 0 0 3 3 】この発明によると、上述した従来の法線ベクトル補間に代えて、入射角および角度差における補間処理を行うようにしたので、補間区間における角度変化が大きい場合でも正確な補間を行うことができ、各ピクセルにおける正確な入射角および角度差のデータが得られる。したがって、たとえば曲率半径の小さい曲面を小平面の集合によって表現したモデルにおいても、むらのない画像表示が可能となる。

【 0 0 3 4 】好ましくは、各ピクセルにおける入射角および角度差を用いてそのピクセルの輝度を算出する処理を専用のハードウェアによる回路を用いて行う。

【 0 0 3 5 】この発明はそのための専用ハードウェア回路を提供している。各ピクセルにおける入射角および角度差から輝度を算出するためのこの発明による専用ハードウェアは、与えられる観察距離データ  $d$  と最短距離パラメータ  $K$  とを加算する第 1 の加算回路、第 1 の加算回路の出力が入力となり、入力の逆数を表わす出力を発生する第 1 のルックアップテーブル、与えられる入射角データ  $\theta$  を入力とし、 $\cos \theta$  を表わす出力を発生する第 2 のルックアップテーブル、与えられる角度差データ  $\alpha$  および反射方向性次数  $n$  を入力とし、 $\cos^n \alpha$  を表わす出力を発生する第 3 のルックアップテーブル、与えられる光源輝度データ  $I$ 、と第 1 のルックアップテーブルの出力との積を演算する第 1 の乗算回路、与えられる拡散反射係数データ  $k_d$  と第 2 のルックアップテーブルの出力との積を演算する第 2 の乗算回路、与えられる鏡面反射係数データ  $k_s$  と第 3 のルックアップテーブルの出力との積を演算する第 3 の乗算回路、第 2 の乗算回路の出力と第 3 の乗算回路の出力とを加算する第 2 の加算回路、第 1 の乗算回路の出力と第 2 の加算回路の出力との積を演算する第 4 の乗算回路、ならびに与えられる周囲光量に関するデータ  $k_s \times I$ 、と第 4 の乗算回路の出力とを加算する第 3 の加算回路を備えている。

【 0 0 3 6 】この発明の好ましい実施態様においては、与えられる最短距離パラメータ  $K$ 、反射方向性次数  $n$ 、光源輝度  $I$ 、拡散反射係数  $k_d$ 、鏡面反射係数  $k_s$ 、お

よび周囲光量に関するデータ  $k_s \times I$ 、をそれぞれ一時記憶するレジスタがさらに備えられる。

【 0 0 3 7 】この専用ハードウェアは、回路全体を複数のステージに分け、与えられるクロック信号に同期してパイプライン処理により演算を実行する構成とすることができる。

【 0 0 3 8 】このように、各ピクセルにおける輝度を計算する回路を専用ハードウェアにより構成したので、処理速度が著しく向上する。

10 【 0 0 3 9 】

【実施例の説明】図 3 は式 12 によって表わされるピクセルごとの輝度計算を行う電気回路のハードウェア・アーキテクチャを示している。このアーキテクチャは、クロック信号により同期をとってパイプライン動作で計算処理を進行させるように構成されており、ステージ 1 ~ 3 の 3 つのステージからなる。まずステージ 1 において計算処理が行なわれ、その処理が終了するとその計算結果をステージ 2 に移し、ステージ 2 における計算処理が行われる。次にステージ 2 における計算処理結果がステージ 3 に転送され、ステージ 3 における計算処理が実行される。ステージ 3 から最終結果であるピクセル  $P$  での観察輝度  $I$ 、が得られる。

【 0 0 4 0 】ステージ 1 には最短距離パラメータ  $K$  のためのレジスタ 18 および反射方向性次数  $n$  のためのレジスタ 19 が、ステージ 2 には光源輝度  $I$ 、のためのレジスタ 27、拡散反射係数  $k_d$  のためのレジスタ 28 および鏡面反射係数  $k_s$  のためのレジスタ 29 が、ステージ 3 には周囲光反射係数  $k_s$  と周囲光輝度  $I$ 、との積  $k_s \times I$ 、のためのレジスタ 34 がそれぞれ設けられている。これらの  $K$ 、 $n$ 、 $I$ 、 $k_d$ 、 $k_s$ 、および  $k_s \times I$ 、は定数であり、計算処理の開始の前にコンピュータの CPU からデータ・バスを通して転送され、対応するレジスタ 18、19、27、28、29 および 34 にそれぞれあらかじめ格納される。

【 0 0 4 1 】ステージ 1 において、コンピュータの CPU から点  $P$  についての観察距離  $d$ 、および角度  $\theta$ 、 $\alpha$  を表わすデータが与えられる。距離データ  $d$  は加算回路 17 においてレジスタ 18 に記憶されているパラメータ  $K$  と加算され、この加算結果  $d + K$  がルックアップテーブル (LUT) 11 に与えられる。LUT 11 はメモリであって、入力データ  $x$  に対応してその逆数  $1/x$  を表わすデータがあらかじめ記憶されている。入力データ  $x$  によってその逆数  $1/x$  を表わすデータの記憶場所をアドレスするように構成するとよい。加算結果  $d + K$  が LUT 11 に与えられると、LUT 11 から  $1/(d + K)$  が読出され、ラッチ回路 14 に一時記憶される。

【 0 0 4 2 】点  $P$  に対する光源からの入射光の入射角  $\theta$  を表わすデータはルックアップテーブル (LUT) 12 に与えられる。LUT 12 はメモリであって、入力データ  $\theta$  に対応して  $\cos \theta$  を表わすデータがあらかじめ記憶さ

れている。LUT12には入力データ $\theta$ を表わすデータをアドレスとして、そのアドレスによって指定される記憶場所にデータ $\cos \theta$ を記憶しておくといふ。LUT12から読出されるデータ $\cos \theta$ はラッチ回路15に一時記憶される。

【0043】点Pについての正反射方向と観察方向との角度差 $\alpha$ を表わすデータはルックアップテーブル(LUT)13に与えられる。LUT13はメモリであって、角度差 $\alpha$ に対応して $\cos^* \alpha$ を表わすデータが反射方向性次数 $n$ ごとにあらかじめ記憶されている。次数 $n$ を表わすデータはレジスタ19に記憶されている。LUT13においてはこの次数 $n$ に応じてページ切替えが行われ、レジスタ19に記憶されている次数 $n$ に関する $\cos^* \alpha$ を表わすデータがアクセス可能となる。LUT13においても好ましくは、次数 $n$ によって開かれたページのデータ $\cos^* \alpha$ が角度差 $\alpha$ を表わすデータをアドレスとしてアクセスされる。LUT13から読出されたデータ $\cos^* \alpha$ はラッチ回路16に一時記憶される。

【0044】ラッチ回路14、15および16にそれぞれ記憶されているデータ $1/(d+K)$ 、 $\cos \theta$ および $\cos^* \alpha$ は次のクロック信号のタイミングでステージ2に転送され、それぞれ乗算回路21、22および23に与えられる。

【0045】乗算回路21は、レジスタ27に記憶されている定数 $I_1$ と入力する $1/(d+K)$ との積 $I_1/(d+K)$ を算出する。その乗算結果はラッチ回路25に一時記憶される。

【0046】乗算回路22は、レジスタ28に記憶されている定数 $k_1$ と入力するデータ $\cos \theta$ との積を算出する。その乗算結果 $k_1 \cos \theta$ はただちに加算回路24に与えられる。同じように、乗算回路23は、レジスタ29に記憶されている定数 $k_2$ と入力するデータ $\cos^* \alpha$ との積を算出する。この乗算結果 $k_2 \cos^* \alpha$ はただちに加算回路24に与えられる。

【0047】加算回路24は入力する乗算結果 $k_1 \cos \theta$ と $k_2 \cos^* \alpha$ とを加算する。その加算結果はラッチ回路26に一時記憶される。

【0048】このように先のデータについての乗算と加算がステージ2で行われている間に、ステージ1では次のピクセルについての入力データ $d$ 、 $\theta$ 、 $\alpha$ に基づいて各LUT11、12、13からのデータの読出しとラッチとが行われるのはいうまでもない。

【0049】次のクロック信号によって、ラッチ回路25、26にそれぞれ記憶されているデータが次のステージ3に転送される。このとき、ステージ1のラッチ回路14~16に一時記憶されているデータがステージ2に転送されるのはいうまでもない。

【0050】ラッチ回路25および26からそれぞれステージ3に転送されたデータは乗算回路31に与えられ、式12の右辺第2項が算出される。この演算結果は加算回路32

に入力する。加算回路32にはレジスタ34から式12の右辺第1項が与えられているので、これらの2つの入力データが加算されることにより、式12によって表わされる観察輝度データ $I_1$ が得られる。このデータ $I_1$ はラッチ回路33にラッチされる。

【0051】次のクロック信号のタイミングでラッチ回路33の輝度データ $I_1$ が出力される。このとき、ステージ1の算出データはステージ2に、ステージ2のデータはステージ3に送られるのはいうまでもない。

【0052】このようにして、入力データ $d$ 、 $\theta$ 、 $\alpha$ を順次与えることにより、クロック周期ごとに各ピクセルの輝度 $I_1$ が順次得られ、迅速な輝度計算が実行される。

【0053】上述したレジスタ18、19、27、28、29および34の定数データは一つの物体モデルについてすべてのピクセルの輝度データの算出が終了するまで固定しておいてもよいし、適当な定数を適当なタイミングで変更してもよい。たとえば、反射方向性次数 $n$ 、拡散反射係数 $k_1$ 、鏡面反射係数 $k_2$ は多面体を構成する小平面ごとに異なる場合があるので、小平面における全ピクセルについての輝度データの算出ごとにこれらの値を変更するようにしてもよい。

【0054】図4はコンピュータ・グラフィクス・システムにおける全体的な処理手順を示している。この処理はコンピュータのCPUによって実行される。

【0055】まず物体のモデル・データが作成または入力される(ステップ41)。モデル・データは上述のように、物体を近似的に表わす多面体の頂点の座標データ(三次元仮想空間における座標=ワールド座標)と、その点における接平面法線ベクトルを表わすデータとの対からなり、この対データが全頂点について与えられる。また、上述した各種定数 $I_1$ 、 $I_2$ 、 $k_1$ 、 $d$ 、 $K$ 、 $k_2$ 、 $k_3$ 、 $n$ が与えられる。

【0056】次に、各頂点について(ステップ44)、座標変換(ステップ42)と、方位角度 $\theta$ 、 $\alpha$ の算出(ステップ43)とが行われる。このために視点(観察)位置、光源位置等の情報が入力される。

【0057】座標変換は、各頂点のワールド座標(三次元)を表示座標(二次元)に変換するもので、この変換のために視点位置情報が用いられる。この座標変換処理は公知の処理であり、かつこの発明と特に関係ないので詳述を避ける。

【0058】方位角度 $\theta$ と $\alpha$ の算出は式13および式14を用いて行われる。

【0059】法線ベクトル $\uparrow n$ 、光源方向ベクトル $\uparrow L$ 、観察方向ベクトル $\uparrow S$ および反射方向ベクトル $\uparrow R$ を次のように置く。

【0060】

法線ベクトル:  $\uparrow n = (n_x, n_y, n_z)$

光源方向ベクトル:  $\uparrow L = (L_x, L_y, L_z)$

10

20

30

40

50

観察方向ベクトル:  $\uparrow S = (S_x, S_y, S_z)$  【0061】

反射方向ベクトル:  $\uparrow R = (R_x, R_y, R_z)$

一方,

$$(\uparrow n \cdot \uparrow L) = n_x L_x + n_y L_y + n_z L_z \quad \cdots \text{式16}$$

$$|\uparrow n| = (n_x^2 + n_y^2 + n_z^2)^{1/2} \quad \cdots \text{式17}$$

$$|\uparrow L| = (L_x^2 + L_y^2 + L_z^2)^{1/2} \quad \cdots \text{式18}$$

であるから、式13にこれらを代入すると、

$$\cos \theta = (n_x L_x + n_y L_y + n_z L_z) / [(n_x^2 + n_y^2 + n_z^2)(L_x^2 + L_y^2 + L_z^2)]^{1/2} \quad \cdots \text{式19}$$

$$\theta = \cos^{-1} [(n_x L_x + n_y L_y + n_z L_z) / [(n_x^2 + n_y^2 + n_z^2)(L_x^2 + L_y^2 + L_z^2)]^{1/2}] \quad \cdots \text{式20}$$

【0062】同様にして角度差  $\alpha$  も次式により得られる。 【0063】

$$\alpha = \cos^{-1} [(R_x S_x + R_y S_y + R_z S_z) / [(R_x^2 + R_y^2 + R_z^2)(S_x^2 + S_y^2 + S_z^2)]^{1/2}] \quad \cdots \text{式21}$$

【0064】次に、ステップ45~48の処理が表示画面上のすべてのピクセルについて行われる(ステップ49)。

【0065】表示画面における頂点の奥行き方向の距離(Z深度)を用いて直線補間法により各ピクセルのZ深度を求め(ステップ45)、Z深度の浅い画像によって隠れてしまて表示され得ない点があるかどうかをチェックされる(ステップ46)。このような隠れる点については表示されないから輝度を算出する必要はないので、以下のステップ47、48には進まない。

【0066】表示可能な各ピクセルについて、それに近接する3つの頂点の角度データ  $\theta$ 、 $\alpha$  を用いて、方位角度データ  $\theta$ 、 $\alpha$  をそれぞれ補間法により算出する(ステップ47)。各ピクセルのデータ  $\theta$ 、 $\alpha$  の補間法は図1を用いて説明した法線ベクトルの補間法と全く同じ手法である。式6において  $x_i$  を  $\theta_i$ 、または  $\alpha_i$ 、 $x_j$  を  $\theta_j$ 、または  $\alpha_j$ 、 $x_k$  を  $\theta_k$ 、または  $\alpha_k$  と置きかえればよい。また、式9において、 $x_i$  を  $\theta_i$ 、または  $\alpha_i$ 、 $x_j$  を  $\theta_j$ 、または  $\alpha_j$ 、 $x_k$  を  $\theta_k$ 、または  $\alpha_k$  と置きかえればよい。

【0067】図5は2つの補間法の差を示している。

【0068】ベクトル  $\uparrow V1$  と  $\uparrow V2$  から、上述した従来の直交座標成分を用いた補間法により作成されたベクトルが鎖線で示す  $\uparrow V4$  である。この補間法によるとベクトル  $\uparrow V4$  がベクトル  $\uparrow V1$ 、 $\uparrow V2$  よりも短くなってベクトルの長さの保存が成立しなくなるばかりでなく、中央付近のベクトル  $\uparrow V4$  において角度変化が大きくなる。このことは特にベクトル  $\uparrow V1$  と  $\uparrow V2$  の角度差が大きい場合に顕著になる。

【0069】実線で示すベクトル  $\uparrow V3$  は、ベクトル  $\uparrow V1$ 、 $\uparrow V2$  から角度補間により作成したものである。

角度補間によると、作成されたベクトル  $\uparrow V3$  の長さも保存され、また相互の角度間隔も等しく設定できる。

【0070】このように、各ピクセルにおける方位角度  $\theta$ 、 $\alpha$  を補間することにより、隣接する頂点における方位角度の差(変化)が大きい場合でも正確な補間が可能となる。たとえば曲率半径の小さい曲面を小平面の集合で表現したモデルでもむらの少ない画面表示が可能となる。

【0071】このようにして、各ピクセルについて角度  $\theta$  と  $\alpha$  が求められると、図3に示すハードウェア回路にこれらのデータ  $\theta$ 、 $\alpha$  とともに観察距離データ  $d$  を与えることにより、各ピクセルの輝度データ  $I_i$  が得られる(ステップ48)。

【0072】複数の物体モデルがある場合には、上述したステップ42~49の処理が物体の数だけ繰返される(ステップ50)。このとき、前方にある物体によって隠れてしまう後方の物体の部分についてはステップ46の判断により、輝度計算が行なわれない。

【0073】このようにして得られたピクセルごとの輝度データを用いて物体モデルが表示装置の表示画面に表示される(ステップ51)。物体モデルについてのデータが  $R$ 、 $G$ 、 $B$  の三原色について与えられていた場合には、三原色についての輝度データが得られ、物体はカラー表示されることになる。

【図面の簡単な説明】

【図1】Phongの方法による画像生成処理のうち、法線ベクトルの補間の様子を示すものである。

【図2】Phongの方法による画像生成処理のうち、ピクセル輝度の算出を説明するためのベクトル図である。

【図3】この発明の実施例を示し、各ピクセルにおける

入射角と角度差から輝度を算出する専用ハードウェアを示すブロック図である。

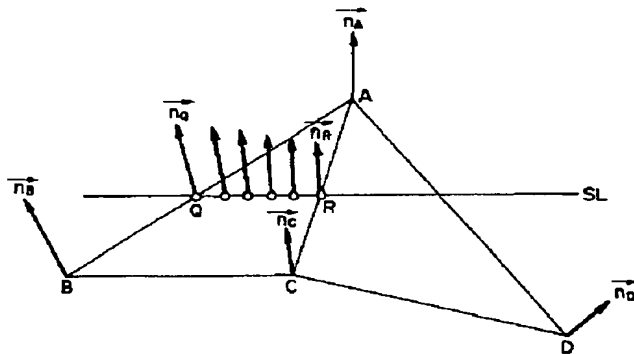
【図 4】この発明による実施例を示し、画像処理手順を表わすフロー・チャートである。

【図 5】直交座標成分による方向ベクトルの補間と角度による方向ベクトルの補間との差を示すベクトル図である。

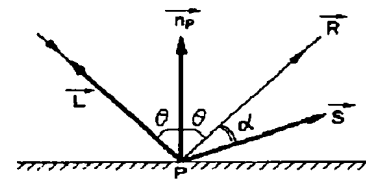
【符号の説明】

- 11, 12, 13    ルックアップテーブル  
14, 15, 16, 25, 26, 33    ラッチ回路  
17, 24, 32    加算回路  
21, 22, 23, 31    乗算回路  
18, 19, 27, 28, 29, 34    レジスタ

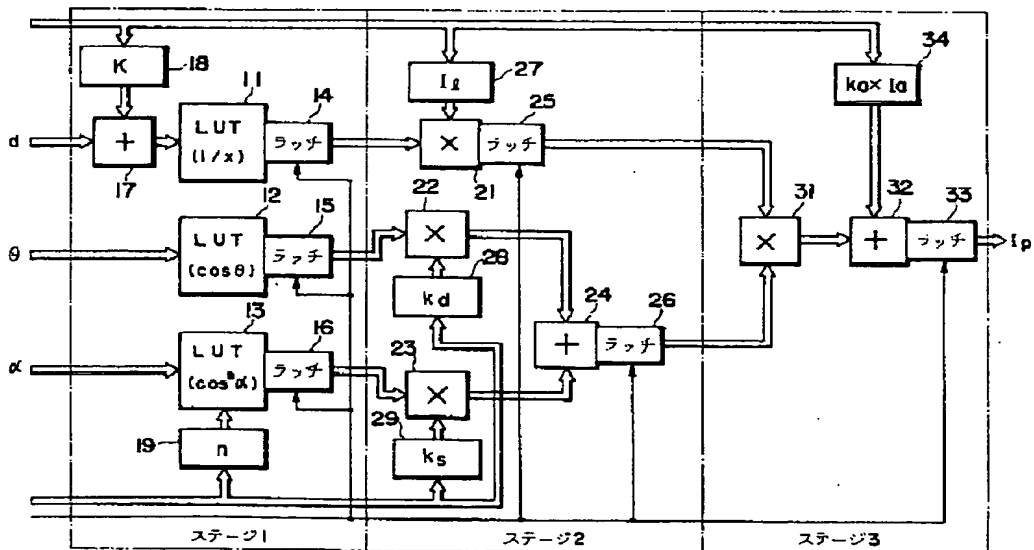
【図 1】



【図 2】



【図 3】



【図 4】

